

Agriculture, alimentation et environnement

Thierry Doré, Gilles Trystram

► **To cite this version:**

Thierry Doré, Gilles Trystram. Agriculture, alimentation et environnement. Les Cahiers français : documents d'actualité, 2017, 401, pp.17-27. hal-02377579

HAL Id: hal-02377579

https://agroparistech.hal.science/hal-02377579

Submitted on 23 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AGRICULTURE, ALIMENTATION ET ENVIRONNEMENT

Thierry Doré
Professeur d'agronomie

Gilles Trystram
Professeur de génie des procédés et automatique à AgroParisTech

La modification des milieux par l'être humain n'est pas chose nouvelle – elle remonte au néolithique, avec l'apparition de l'agriculture – mais prend un tour nouveau à partir du XXe siècle avec la spécialisation de celle-ci et le recours massif à des intrants extérieurs, d'où des effets nocifs. Thierry Doré et Gilles Trystram montrent que, si la transition écologique est nécessaire, il faut se garder de toute solution systématique. Les impacts d'un mode d'agriculture doivent être vérifiés sur une large gamme de critères : ce qui est bénéfique sur un plan peut ne pas l'être sur un autre. Il faut en outre chercher à réaliser les meilleurs compromis possibles entre les divers services écosystémiques rendus par l'agriculture. Quant aux effets plus spécifiques de l'alimentation sur l'environnement, ils sont aussi nombreux, compte tenu d'un système agro-industriel dominant. Celui-ci doit par ailleurs s'adapter à la diversité des agricultures, tout en continuant de garantir l'accès aux aliments et leur sécurité sanitaire, de répondre aux diverses attentes des consommateurs et de satisfaire les exigences écologiques.

C. F.

L'alimentation est un besoin vital pour les êtres vivants. Les possibilités pour l'être humain de satisfaire ce besoin, mais également les relations mutuelles entre alimentation, cadre de vie et environnement, sont donc des questions centrales, notamment lorsqu'on s'intéresse aux transformations de la société mues par un impératif écologique. Nul ne saurait en effet envisager celles-ci sans prendre garde à leurs conséquences sur l'alimentation humaine. Inversement, nul ne saurait chercher des solutions pour satisfaire les besoins alimentaires de l'humanité en omettant – dans le but d'en minimiser les dimensions négatives ou d'en amplifier les dimensions positives – d'en évaluer les effets induits sur la société.

Agriculture et impacts environnementaux : approche historique

Deux ruptures

L'être humain est un animal qui fait partie des écosystèmes. Pendant des milliers d'années, se nourrissant par la chasse, la pêche et la cueillette, il a participé des dynamiques écologiques naturelles. Comme tous les autres êtres vivants, il a provoqué des changements dans ces dynamiques, mais sans doute de faible ampleur au regard d'autres perturbations naturelles.

À partir du néolithique, l'apparition de l'agriculture a marqué une différence de nature dans les relations entre l'homme et les écosystèmes : il les a artificialisés. Cette transformation, qui constitue une première rupture, a consisté d'une part en une concentration d'espèces (espèces animales élevées, espèces végétales cultivées) en un lieu où elles se trouvaient originellement avec une densité bien moindre, et, d'autre part, en un aménagement du milieu, de l'habitat de ces espèces, de manière à les rendre plus productives en protégeant les espèces élevées et cultivées contre la mortalité ainsi qu'en limitant la concurrence préjudiciable exercée par d'autres espèces, donc en favorisant leur croissance.

Cette artificialisation s'est accompagnée, dans un mouvement synergique probablement complexe, d'une croissance démographique. Ainsi, même si elle était très faible comparée aux chiffres actuels, la population mondiale estimée a été multipliée par un facteur 10 à 30 entre – 5000 et 0, par deux entre 0 et l'an 1000, puis par cinq entre 1000 et 1900.

Les besoins alimentaires croissant, la part des écosystèmes affectés par l'artificialisation agricole a également progressivement augmenté, ceci d'autant plus que la productivité de l'agriculture ne s'améliorait que lentement. C'est l'augmentation des surfaces qui permettait de faire face, avec plus ou moins de succès, à celle des besoins alimentaires – et non alimentaires, car les produits de l'agriculture étaient aussi utilisés pour l'habitat, l'habillement, la production d'énergie. Compte tenu des capacités limitées du transport de denrées (tant en distance qu'en vitesse) qui ont prévalu pendant des millénaires, cette augmentation des surfaces se faisait à proximité des zones d'accroissement des populations.

Pendant cette première phase de l'humanité agricole, l'impact sur l'environnement était réel. Par exemple, si on se limite au cadre européen, les grandes campagnes de destruction des forêts pour implanter des cultures ou des prairies[(1)], les assèchements de marais, les endiguements de cours d'eau ou leur utilisation pour l'irrigation gravitaire ont modifié les comportements édaphiques[(2)], changé les cycles des éléments minéraux et perturbé les habitats des espèces sauvages. Tous ces aménagements ont donc altéré les écosystèmes, et pour certains d'entre eux, comme le défrichement, ils émettaient déjà du dioxyde de carbone.

À partir du XX^e^ siècle survient une seconde rupture, au cours de laquelle les impacts de l'agriculture se sont en quelque sorte déplacés. Les grandes campagnes de modification des milieux sont révolues dans le monde occidental, même si le drainage des zones humides, par exemple, se poursuit. Les modifications de l'agriculture engendrant de nouveaux impacts sont alors de deux natures. Il s'agit, d'une part, de la spécialisation de l'agriculture et, d'autre part, du recours massif à des intrants extérieurs.

La spécialisation – et, en particulier, le découplage entre productions végétales et animales qui s'articulaient entre elles dans nombre de régions à climat tempéré et dans une partie des régions à climat tropical – a entraîné des modifications importantes des cycles des éléments minéraux, provoquant des accumulations dans des compartiments de la biosphère jusque-là peu affectés par l'agriculture. La concentration géographique des élevages, par exemple, est à l'origine de la mobilisation de quantités d'éléments minéraux (en particulier de phosphore et d'azote) bien supérieures aux quantités que les sols peuvent stocker, et les végétaux recycler. Les conséquences en sont une altération forte des écosystèmes de rivage maritime, ou encore des accumulations importantes de phosphore – ressource en voie d'épuisement – au fond des océans.

Dans le même temps, le recours à des intrants de synthèse, engrais et produits phytosanitaires ou vétérinaires, a provoqué l'accumulation de résidus dans les écosystèmes. La durée de vie de ces résidus est parfois longue, et on peut les retrouver dans des compartiments de la biosphère éloignés de leurs lieux d'utilisation. Par ailleurs, les engrais azotés sont sources d'émissions de gaz à effet de serre, et les pesticides altèrent les réseaux

(1) On est passé de 40 millions d'hectares de forêts en France à l'époque gallo-romaine à sept ou huit millions d'hectares au milieu du XIX^e^ siècle.

(2) C'est-à-dire les réactions des sols, compte tenu de l'évolution de leurs caractéristiques (pH, humidité…).

trophiques[3], avec des conséquences délétères sur des espèces non ciblées : les baisses des populations d'oiseaux de campagne en Europe semblent liées à l'emploi des pesticides.

État des lieux et sens de variation

Il n'est pas toujours aisé d'évaluer les impacts de l'alimentation sur l'environnement. Il faut en effet surmonter deux difficultés. La première est celle de la réalisation des mesures. Qu'il s'agisse des atteintes à la biodiversité, des accumulations de xénobiotiques[4] dans les compartiments de l'environnement, ou encore des émissions de gaz à effet de serre, se pose la question de savoir que mesurer, où et quand. Par exemple, l'agriculture est la principale productrice d'un gaz à fort effet de serre, le protoxyde d'azote. Ses émissions, liées à l'activité de micro-organismes du sol, sont extrêmement variables dans l'espace (d'une parcelle à l'autre, et même à l'intérieur d'une parcelle) et dans le temps (d'un jour à l'autre, et au sein d'une même journée). La mesure à grande échelle de ces émissions est donc exclue, et leur estimation ne peut se faire qu'à l'aide de modèles encore peu précis. Par ailleurs, même dans les situations où les difficultés méthodologiques sont surmontées, la mesure à l'échelle internationale n'est pas garantie : dans de nombreux pays, il n'existe pas de dispositif (dont le coût peut ne pas être négligeable) de mesure des impacts ni même d'enregistrement des pratiques agricoles et alimentaires.

La seconde difficulté est liée aux contours du secteur de l'alimentation. Selon les compartiments de l'environnement considérés, la manière d'agréger les activités humaines pour évaluer leurs impacts environnementaux peut varier. Ainsi, l'agriculture et la forêt sont parfois agrégées et parfois non ; les industries de transformation des produits agricoles sont ou non associées à l'agriculture ; l'impact spécifique du transport des denrées agricoles est distinguable ou non de celui du secteur global des transports ; la consommation alimentaire, et notamment les effets liés à la production de déchets alimentaires, peut être prise – ou pas – en considération ; la responsabilité de l'agriculture est parfois très difficilement identifiable parmi celles des diverses activités humaines, etc.

Il est néanmoins possible de dresser un tableau international – même nécessairement imprécis –, comme l'ont fait Thierry Doré et Alban Thomas en 2010[5]. Les constats chiffrés donnés à l'époque, qui montrent le fort impact de l'agriculture sur l'environnement, restent globalement valables[6]. Cela est compréhensible : on peut difficilement modifier de manière très substantielle en une décennie une activité humaine reposant sur des investissements, des infrastructures, des modalités d'insertion dans les marchés, des politiques publiques et enfin des compétences qui doivent être changés simultanément pour obtenir un effet significatif. Même si des progrès existent – les comportements excessifs des années 1970 et 1980 sont maintenant plus rares, ou interdits (comme le sont l'emploi de certains pesticides particulièrement écotoxiques) –, le chemin qu'il reste à parcourir pour parvenir à certains objectifs, comme le bon état écologique des masses d'eau en France, reste considérable.

Formes d'agriculture et impacts environnementaux

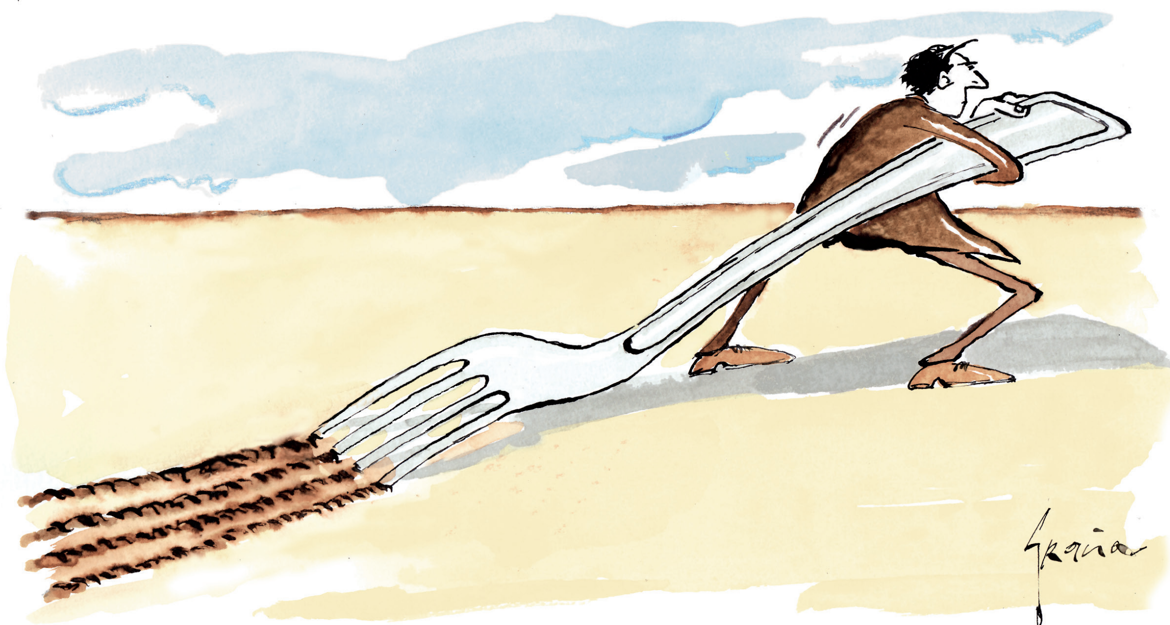
Nous avons jusqu'ici considéré l'agriculture et l'alimentation comme un tout, pour en considérer l'impact général. Il s'agit néanmoins d'une simplification qu'il faut dépasser, et dès lors qu'on souhaite identifier des voies de progrès pour diminuer les impacts de l'alimentation sur l'environnement, il faut avoir en tête qu'il existe une très grande diversité de formes d'agriculture (l'encadré p. 25 décrit cette diversité d'agricultures, et précise ce que recouvrent les différentes appellations couramment rencontrées).

(3) Ensemble des relations alimentaires entre espèces au sein d'un même écosystème et par lesquelles l'énergie et la matière circulent.

(4) Substance étrangère à un organisme vivant et qui lui est toxique.

(5) Doré T. et Thomas A. (2010), « L'agriculture et les ressources naturelles », *in* Doré T. et Réchauchère O. (dir.), *La question agricole mondiale*, Paris, La Documentation française, p. 135-152.

(6) Ainsi, selon le Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA), de 2005 à 2015, les émissions de méthane (CH4) et de protoxyde d'azote (N2O) liées à l'agriculture n'ont pratiquement pas bougé en France. (voir tableau « Accroissement de l'effet de serre », consultable sur : http://www.citepa.org, rubrique « Activités, dont inventaires », puis « Inventaire d'émissions », puis « SECTEN ») ; et selon le ministère en charge de l'agriculture, l'emploi des produits phytosanitaires a légèrement augmenté entre 2008 et 2015 (voir le communiqué du janvier 2017 intitulé « Ecophyto : continuer la mobilisation pour réduire l'utilisation des produits phytopharmaceutiques », consultable sur http://agriculture.gouv.fr).



Impacts environnementaux et compromis de services écosystémiques

Comme évoqué ci-dessus, les impacts de l'agriculture et de l'alimentation sur l'environnement sont indéniables et les réduire est un impératif. Cependant, les évolutions de l'agriculture ne sauraient être déterminées que par cet objectif. En effet, l'agriculture remplit de fait, ou potentiellement, différents services écosystémiques indispensables à l'humanité, et les évolutions des manières de produire doivent aussi préserver ces finalités[(7)].

Le premier service le plus spontanément évoqué est celui de fourniture d'aliments, ou plutôt de biomasse utile. En effet, dans une économie qui cherche à se libérer de l'usage du carbone fossile, les utilisations de la biomasse se diversifient au-delà de l'alimentaire. La fourniture d'énergie, celle de molécules chimiques d'intérêt pharmaceutique, industriel ou autre, ou encore de matériaux pour la construction ou l'industrie manufacturière, sont des destinations possibles des produits et coproduits issus de l'agriculture. Les évolutions de l'agriculture doivent prendre en considération son potentiel de fourniture de ces ressources.

Parallèlement, l'agriculture fournit aussi d'autres services, parmi lesquels celui d'épuration (des eaux usées) et de recyclage (de déchets domestiques organiques), ainsi que celui de stockage de carbone dans les sols. Ce dernier service est particulièrement intéressant à considérer pour illustrer la notion de nécessaire compromis[(8)]. En effet, augmenter le stockage de carbone dans les sols est un moyen d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre. Cependant, ce même carbone peut être utilisé comme ressource pour différents usages, comme évoqué ci-dessus. Même si l'augmentation du stockage de carbone dans les sols se fait partiellement par les parties souterraines des plantes, moins utilisées que les parties aériennes,

(7) Pour une approche plus détaillée des multiples fonctions de l'agriculture, voir Caron P. et Schmitt B. (2010), « Les multiples productions et fonctions de l'agriculture », *in* Doré T. et Réchauchère O. (dir.), *op. cit.*, p. 153-167.

(8) Un article récent illustre de manière plus générale les convergences et divergences entre objectifs multiples liés à l'agriculture, voir German R. N., Thomson C. E. et Benton T.G. (2017), « Relationships among multiple aspects of agriculture's environmental impact and productivity: a meta-analysis to guide sustainable agriculture », *Biological reviews*, n° 92, p. 716-738.

il n'est pas certain qu'on puisse augmenter dans tous les cas à la fois le stockage et l'usage du carbone issu de la photosynthèse, et des compromis sont sans doute nécessaires. D'une manière générale, c'est en tenant compte d'un faisceau de finalités (les services écosystémiques) et de contraintes (la diminution des atteintes à l'environnement) que les évolutions de l'agriculture doivent être raisonnées.

Performances des agricultures

En termes de compromis réalisables, toutes les agricultures ne se valent pas. Cependant, on manque encore d'études permettant de comparer différentes formes d'agriculture sur une large gamme d'impacts environnementaux et de services écosystémiques fournis, ce qui est en partie dû aux difficultés méthodologiques évoquées ci-dessus.

Les méta-analyses disponibles, jusqu'il y a peu assez rares, se multiplient, mais elles portent souvent sur un petit nombre d'impacts. Historiquement elles ont permis des comparaisons entre agriculture biologique et agriculture conventionnelle, et surtout sur une variable d'intérêt : la productivité. Ainsi, elles montrent que dans le cadre actuel des techniques utilisées en agriculture biologique, les rendements obtenus dans les agricultures des pays du Nord en agriculture biologique sont de l'ordre de 20 % plus faibles (avec une forte variabilité entre cultures et élevages) qu'en agriculture conventionnelle. Pour les pays du Sud, cette comparaison n'est pas aussi pertinente. En effet, l'agriculture dite conventionnelle est souvent pratiquée sans engrais et sans pesticide, et appliquer les principes de l'agriculture biologique revient notamment à apporter des engrais organiques là où aucun élément n'était apporté au sol, ce qui se traduit par une augmentation de productivité.

De récentes méta-analyses permettent d'autres comparaisons. Par exemple, des auteurs ont montré l'effet positif moyen sur la biodiversité et l'érosion de l'agroforesterie en Europe, mais pointent son effet négatif sur la production de biomasse, et une forte variabilité des effets[9] ; d'autres ont montré qu'en Chine le semis direct (sans travail du sol) permettait une augmentation du stockage de carbone dans les sols, mais de manière moindre qu'antérieurement estimé[10].

Aux méta-analyses il faut ajouter quelques expérimentations, certes localisées et limitées à l'évaluation de ce qui se passe à l'échelle parcellaire sans prendre en compte des effets paysagers, mais ayant l'immense mérite de permettre d'observer les effets des formes d'agriculture sur de nombreux critères, notamment environnementaux. Ces expérimentations de long terme montrent un effet globalement bénéfique de l'agriculture biologique, et des formes d'agriculture utilisant moins d'intrants, sur l'environnement. Malheureusement, pour beaucoup de ces formes (notamment la permaculture, qui attire beaucoup les regards mais pour laquelle peu de références existent), les données expérimentales font défaut.

Pour compléter ces données expérimentales lacunaires, il faut se référer aux principes guidant les diverses formes d'agriculture (sur ces principes, voir tableau p. 26). On voit ainsi qu'il existe une relation directe entre l'intensité d'usage des produits phytosanitaires et trois types de risques : celui de retrouver les molécules ou leurs produits de dégradation dans les compartiments de l'environnement, celui d'en retrouver également dans les denrées consommées, enfin le risque sanitaire pour les applicateurs et les riverains.

Toute baisse de l'emploi de ces produits, comme en agroécologie, et *a fortiori* leur bannissement, comme dans le cas de l'agriculture biologique, diminueront ces risques. De même, l'intensité du travail du sol influe directement sur l'activité des micro-organismes telluriques, qui détermine la capacité de stockage de carbone, et une diminution de cette intensité va dans le sens d'une augmentation du stockage de carbone. Ou encore, l'augmentation de la productivité laitière des bovins permet de réduire, par litre de lait produit, les émissions de méthane, gaz à effet de serre issu de la digestion de l'herbe par les vaches. Mais, dans le même temps, la diminution de l'emploi des pesticides peut s'accompagner

(9) Torralba M., Fagerholm N., Burgess P. J., Moreno G. et Plieninger T. (2016), « Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, n° 230, p. 150-161.

(10) Du Z., Angers D.A., Ren T., Zhang Q. et Li G. (2017), « The effect of no-till on organic C storage in Chinese soils should not be overemphasized: A meta-analysis », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, n° 236, p. 1-11.

d'une baisse de productivité ; la simplification du travail du sol, aller de pair avec un emploi accru de pesticides ; et l'augmentation de la productivité laitière s'obtient par des modes d'alimentation et des conditions d'élevage pouvant porter préjudice à l'environnement et au bien-être animal. La mise en œuvre des principes guidant l'action doit donc s'accompagner d'une évaluation multicritère localisée, car les résultats obtenus à un endroit donné seront difficilement extrapolables ailleurs.

Plutôt que de prôner la conversion systématique vers telle ou telle forme d'agriculture, la nécessaire transition écologique en agriculture doit donc s'appuyer sur un raisonnement agronomique fondé sur les connaissances existantes, pour identifier localement les règles permettant de satisfaire au mieux plusieurs objectifs parfois contradictoires. Pour réaliser cette transition, il n'y a pas de recette miracle, seulement un raisonnement qui inclut l'évaluation réelle des multiples performances, et l'amélioration progressive des pratiques.

L'alimentation comme niveau de raisonnement

L'alimentation est une des préoccupations majeures de l'homme, autant au plan individuel que sociétal : besoin vital, mais aussi source de questionnement sur ses impacts en matière de santé ; besoin revêtant différentes formes en fonction de critères éthiques, religieux, de communauté ; source d'études anthropologiques, juridiques, sanitaires, comme chimiques ou microbiologiques. L'alimentation peut prendre différents sens en fonction des divers angles à partir desquels on l'appréhende : une science, un contexte, une industrie. C'est aussi une question mouvante, dont les contours évoluent au cours de l'histoire.

La possibilité de transporter des denrées a considérablement modifié le lien entre les productions agricoles, leur transformation, leur distribution – et jusqu'à la manière dont le produit est consommé.

L'ambition de nourrir les populations, éprouvées par les années de guerre, au plus bas coût (25 % du budget des ménages français en 1970, contre 13 % aujourd'hui) a induit le développement d'un « système agro-industriel » encore dominant. À l'origine construit essentiellement pour préserver et distribuer les denrées, et transférer des savoir-faire culinaires (pas toujours compris et expliqués par la science) à une plus grande échelle, ce système s'est transformé, notamment en intégrant des contraintes relatives à l'empreinte écologique.

Certes, le système alimentaire industriel n'est pas le seul. Les liens entre la ressource, sa transformation, au sens de l'élaboration des attributs attendus de la nourriture, et la consommation sont organisés de manières très variées selon les régions du monde. Bien qu'essentiellement composée d'aliments (y compris l'eau, bien sûr) transformés ou non, l'alimentation n'est en effet pas réductible à ces seuls aliments. La nature de la diète – et les composantes comportementales associées – est essentielle. De ce point de vue il n'y a pas un seul modèle alimentaire mondial, mais une multitude, et les territoires ont des pratiques, des relations agriculture/alimentation spécifiques. Néanmoins, le développement de solutions industrielles domine (quantitativement du moins) dans les pays industrialisés et accompagne l'urbanisation, marquée par un déplacement des consommateurs vers les villes éloignées des productions agricoles. Ce mouvement s'observe désormais partout dans le monde, qui compte plus d'urbains que de ruraux.

Ce n'est que récemment que le système agro-industriel a intégré un objectif de durabilité dans la conception des systèmes alimentaires.

Système alimentaire et impacts environnementaux

On estime que l'alimentation représente au moins un tiers de la production des gaz à effet de serre de l'humanité – et 23 % de l'impact « carbone », 23 % de l'impact « eau », 9 % de l'impact « énergie »[(11)]. À côté de la production agricole, dont les effets ont été évoqués ci-dessus, l'activité de transformation affecte aussi les milieux (notamment par le biais des rejets d'eaux usées). Enfin, des retombées indirectes importantes sont liées aux emballages alimentaires.

(11) Martin S., « L'impact environnemental de l'alimentation », *in* Esnouf C., Fioramonti J. et Laurioux B. (dir.) (2015), *L'Alimentation à découvert*, Paris, CNRS Éditions, p. 260.

Certains secteurs industriels consomment une part majeure de l'énergie au sein d'une filière de production – ainsi, une des voies de stabilisation des aliments est le séchage, et il faut beaucoup d'énergie pour atteindre un niveau suffisant de déshydratation.

Par ailleurs, 25 à 30 % des aliments transformés seraient gaspillés (donc non consommés) et plusieurs études estiment que la seule maîtrise de ces gaspillages permettrait de traiter l'insécurité alimentaire mondiale(12). Ce gaspillage est en outre très générateur d'impacts environnementaux, directs (pollutions liées à leur élimination) et indirects (liés à une production agricole inutile).

La maîtrise des coûts de transformation et de stabilisation des aliments, facteur clé de la diminution de l'impact environnemental de la transformation, est une question ancienne. La sucrerie de canne, par exemple, est « historiquement » autonome en énergie et capable de fournir de l'électricité au réseau. La sucrerie de betteraves a, depuis très longtemps, réduit drastiquement sa consommation d'eau et réutilise certaines de ses « eaux de procédé » (c'est-à-dire utilisées lors des étapes de transformation). Certaines industries charcutières sont également autonomes au plan énergétique. Même si l'énergie ne représente que 3 à 15 % des coûts de transformation des aliments, une multitude de travaux d'ingénierie peuvent encore améliorer cette maîtrise.

La logistique est parfois le point crucial. Pour certains produits, c'est par exemple le transport entre le magasin et le domicile qui affecte le plus la dimension environnementale. L'usage final des aliments, leur conservation à domicile, la chaîne du froid, la manière dont ils sont cuits ont également des retombées conséquentes au plan environnemental.

La question de la diète alimentaire et de ses effets environnementaux est un sujet complexe. D'une part, la couverture des besoins est une exigence évidemment variable en fonction des individus et, d'autre part, il existe une corrélation entre le contenu de l'assiette et la production de gaz à effets de serre. Ce sont les aliments à forte densité énergétique qui impactent le plus l'environnement : donc, plus on ingère de calories ou d'aliments denses, plus l'incidence est lourde. Contrairement à une idée reçue, une bonne alimentation en termes nutritionnels a un impact défavorable en termes environnementaux. En effet, une bonne alimentation pour l'environnement est de faible densité énergétique, mais il faut alors consommer davantage pour satisfaire un besoin calorique donné(13). Progresser implique donc de changer son comportement alimentaire et de revenir à des besoins caloriques plus réduits.

Si cette question – essentielle – des répercussions sur l'environnement et la consommation d'énergie, des matières premières ou du gaspillage dans le domaine agro-alimentaire avance, il n'en va pas de même pour celle concernant leur impact sur la biodiversité, qui a fait l'objet de peu d'études et demeure peu documentée.

La situation aujourd'hui et son évolution

Comme lors de chaque période de l'histoire, l'alimentation se redéfinit et évolue. Nous sommes probablement dans une période de mutation. L'évolution vers une plus grande diversité des agricultures bouscule dès à présent les systèmes alimentaires. S'adapter à une diversité accrue, tout en garantissant la sécurité sanitaire, une réponse adaptée aux enjeux nutritionnels et de santé ainsi qu'une constance des attributs perceptifs représente une gageure. Coupler la maîtrise de ces défis avec celle des divers impacts écologiques est sans doute le challenge majeur aujourd'hui.

Cette diversité des agricultures est déterminante pour les évolutions à venir, tant en ce qui concerne la production des matières premières agricoles qu'en ce qui concerne la capacité à fournir une variété de produits correspondant à des attentes également multiples. Outre la production de ces ressources, au moins trois grands défis sont à relever.

• L'accès aux aliments est un premier défi largement identifié. Cette problématique de l'accès revêt un aspect avant tout logistique. Les lieux de consommation s'éloignent des lieux de production, et la compétition mondiale pour les ressources

(12) Esnouf C. *et al.* (dir.) (2011), *Pour une alimentation durable. Réflexion stratégique duaLIne*, Versailles, Éditions Quae.

(13) Darmon N. (2015), « Une alimentation bonne pour la santé est-elle compatible avec une alimentation bonne pour l'environnement ? », *in* Esnouf C., Fioramonti J. et Laurioux B. (dir.) (2015), *op. cit.*, p. 264.

agricoles induit une spéculation sur lesdites ressources. L'analyse du circuit de nombreux produits ou ingrédients montre des chemins complexes, à l'échelle mondiale, et l'empreinte écologique globale en est affectée.

La question de l'accès à une alimentation maîtrisée et de qualité revêt aussi un aspect économique : il s'agit de garantir une forme d'équité alimentaire pour que tous aient accès à la capacité à se nourrir, comme cela devrait également être le cas pour le logement ou pour d'autres ressources.

La composante sociale du développement durable est fortement affectée par cette question finalement assez peu étudiée à ce jour. Mais, en matière d'alimentation, il apparaît de plus en plus que la capacité à maîtriser son alimentation, au plan individuel ou collectif – et donc dans une perspective de durabilité globale –, passe par la connaissance des usages liés aux aliments (y compris le recyclage, la réduction des pertes et du gaspillage). Or toutes les études sociologiques actuelles montrent une perte de cette connaissance des usages.

• Le deuxième défi est une meilleure appréhension – et donc une quantification – des impacts de l'alimentation, afin de permettre des choix alimentaires éclairés – et donc leur évolution vers une meilleure maîtrise collective.

Il n'existe pas vraiment de consensus quant aux indicateurs pertinents pour quantifier les impacts de l'alimentation. Chaque cas est probablement à considérer et à adapter. Néanmoins, quelques études prospectives renseignent sur des directions positives et d'autres qui le sont moins[14]. Les études concordent sur deux facteurs clés : la quantité de calories ingérées, qui est considérable dans quelques pays très industrialisés et insuffisante dans d'autres pays ou territoires, et la densité énergétique, dont on a déjà mentionné l'importance dans l'impact environnemental.

Toutes les études anthropologiques démontrent que l'accès à plus de richesse induit une reproduction de comportements alimentaires à forte consommation calorique (dont la consommation de produits carnés). Les études prospectives en concluent qu'il convient de réduire la consommation de certains aliments (produits carnés notamment). Mais des alternatives d'élaboration d'aliment à densité énergétique réduite existent aussi, où la structure de l'aliment est modifiée pour que les facteurs de charge énergétique (sucre et gras principalement) soient réduits, sans perte des attributs perceptifs. Il est certain qu'une voie non négligeable à explorer consiste à combiner des approches d'ordre sociologique et technologique avec, à la clé, des changements de comportements alimentaires et des évolutions des démarches d'ingénierie des aliments – sans perdre de vue que la régulation individuelle se fait au niveau de la diète et non pas d'un aliment unique.

• Le troisième défi réside dans la capacité à fournir des aliments dont les fonctions et attributs correspondent aux attentes des consommateurs. Ces attentes sont nombreuses, contradictoires, et les processus de transformation ont su, jusqu'à présent, réaliser des compromis entre elles (sécurité sanitaire, impact nutritionnel, propriétés sensorielles). Cette construction a été maîtrisée, en ajoutant étape après étape des critères nouveaux aux critères précédents. Le challenge aujourd'hui est de tenir compte de nouvelles connaissances ou contraintes. À cet égard, deux axes principaux émergent.

Le premier, clairement identifié, est celui du contrôle de l'empreinte écologique des activités de transformation et de distribution des aliments et s'inscrit dans la continuité directe des dimensions exposées plus haut. Ceci implique de faire les mêmes aliments qu'aujourd'hui, mais en maîtrisant consommation d'énergie, pertes de matières, gestion de l'eau, empreinte carbone, etc.

Le deuxième est celui de l'adaptation aux progrès des connaissances scientifiques sur le métabolisme alimentaire humain. Des travaux nouveaux ouvrent des voies sur les processus masticatoires, sur le fonctionnement de l'estomac ou sur la manière dont le tube digestif fonctionne. Ces progrès concernent aussi le fonctionnement

(14) Voir, par exemple, Paillard S., Dorin B. et Treyer S., (2010), *Agrimonde. Scénarios et défis pour nourrir le monde en 2050*, Versailles, Éditions Quae. Voir aussi Garnett T. (2014), « Three perspectives on sustainable food security: efficiency, demand restraint, food system transformation, What role for life cycle assessment? », *Journal of cleaner production*, n° 73, p. 10-18.

du cerveau et son lien aux matières grasses, aux *stimuli* visuels, etc. Tous ces travaux induisent des nécessaires évolutions des aliments, jusque dans la manière dont des nutriments participent, structurellement, de l'aliment. Les conséquences ne sont qu'émergentes et on peut s'attendre à des changements majeurs à accompagner.

Par ailleurs, la question de la nutrition personnalisée devient prégnante et, par le lien aux comportements alimentaires, l'influence sur l'empreinte écologique est questionnée. Jusqu'à présent les attributs élaborés correspondaient soit à une demande majoritaire de la population, soit à une stratégie de marketing dont la finalité était de convaincre des consommateurs du bien-fondé de l'aliment élaboré. Cette réponse globale à l'échelle des populations perd de la puissance face à une demande visant à nourrir les individus. Ainsi apparaissent des stratégies d'alimentation impliquant toute la chaîne, dont la construction d'attributs attendus spécifiques qui s'adressent à des catégories de consommateurs, voire à des individus. Des aliments sont conçus pour des jeunes en période de croissance, d'autres pour des sportifs avec des besoins protéiques spécifiques, d'autres pour des personnes âgées ou des personnes en situation de suivi médical particulier. Ainsi le nombre, la diversité des attentes et des comportements alimentaires s'accroissent sensiblement.

Toutes ces considérations représentent des challenges importants. Il est cependant possible, voire très probable, que des questions nouvelles émergent dans le futur, notamment parce que l'alimentation est intrinsèquement liée aux évolutions des activités humaines. Ces évolutions seront sources de nouveaux questionnements sur les impacts de l'alimentation sur l'évolution de la biosphère.

Les différentes formes d'agriculture

Dans beaucoup de régions du monde, il demeure une grande variabilité de formes d'agriculture : agriculture intensive, intégrée, biologique[1]… Ces appellations sont néanmoins trompeuses à plusieurs titres.

En premier lieu, l'agriculture, qui consiste à piloter des systèmes vivants dans des milieux (sols, climats, écosystèmes) très variés, se prête difficilement à une normalisation et à une standardisation. Même quand elle se conforme à un cahier des charges assez précis et que cette conformité est vérifiable et vérifiée, ce qui est le cas de l'agriculture biologique, il demeure une très grande variabilité de pratiques entre agriculteurs. Certes, on sait que les intrants de synthèse ne seront pas utilisés pour l'agriculture biologique, que certaines pratiques seront préférées à d'autres, mais l'univers des possibles reste néanmoins très grand.

En second lieu, certaines qualifications de l'agriculture, comme « agriculture intensive » ou « agriculture conventionnelle », ne correspondent à aucun cahier des charges particulier. Elles qualifient plutôt par défaut les agricultures qui ne sont pas encadrées par un cahier des charges. Ainsi, il existera au sein de ces appellations de très grandes différences de pratiques entre agriculteurs, du point de vue du degré de spécialisation, ou encore du recours aux intrants. En France, un éleveur à l'herbe du Cantal comme un éleveur hors-sol breton seront tous les deux des « conventionnels ». Cet effet est accru dès lors qu'on s'intéresse à l'agriculture au niveau international : les élevages « intensifs » français et américains sont très différents les uns des autres, et la céréaliculture « conventionnelle » aux États-Unis est peu comparable à la céréaliculture « conventionnelle » européenne ou asiatique. Par ailleurs, certaines appellations d'agriculture correspondent à des standards non normés et non opposables, et ne portent que sur une partie du processus de production. C'est le cas notamment de l'agriculture dite « de conservation » qui repose sur des principes de couverture du sol et de travail du sol, mais ne dit rien de l'usage des intrants. Enfin certaines appellations, comme l'agroécologie et la permaculture, sont fondées sur des principes généraux favorisant la complexité et l'adaptation aux conditions de sol et de climat locales, ce qui par construction induit des variations fortes de pratiques d'une exploitation à l'autre. Le tableau ci-dessous donne des caractéristiques générales de différents qualificatifs de l'agriculture. Ces derniers ne sont pas forcément mutuellement exclusifs : par exemple des systèmes agroforestiers en agriculture conventionnelle coexistent avec des systèmes agroforestiers en agriculture biologique.

(1) Voir Doré T., Maraux F. (2010), « Les manières de produire en agriculture, état des lieux et controverses », *in* Doré T. et Réchauchère O. (dir.), *La question agricole mondiale*, Paris, La Documentation française, p. 115-134.

Tableau. Caractéristiques générales des différentes formes d'agriculture

Agriculture Biologique *(Organic farming)*	
Existence d'un cadre réglementaire	Oui, français et européen
Principes avancés	Au niveau international, quatre grands principes sont partagés : principe de santé (des humains et des écosystèmes) ; principe d'écologie ; principe d'équité (entre acteurs liés à l'agriculture, mais aussi vis-à-vis des animaux) ; principe de précaution
Principales orientations techniques	Bannissement du recours aux intrants de synthèse et aux organismes génétiquement modifiés (OGM) ; diversification des systèmes de culture et de production
Agriculture intégrée (*Integrated farming*)	
Existence d'un cadre réglementaire	Non
Principes avancés	Mobilisation des régulations naturelles en agriculture, utilisation des intrants de synthèse en dernier recours
Principales orientations techniques	Diversification des modes de protection et de fertilisation des cultures ; diversification des systèmes de production
Agriculture intensive *(Intensive agriculture)*	
Existence d'un cadre réglementaire	Non
Principes avancés	Utilisation intensive d'intrants, de capital ou de travail par hectare
Principales orientations techniques	Pas d'orientation particulière, systèmes très divers
Agriculture conventionnelle *(Conventional agriculture)*	
Existence d'un cadre réglementaire	Non
Principes avancés	Pas de principe, il s'agit d'un vocable utilisé par défaut
Principales orientations techniques	Systèmes issus de la modernisation de l'agriculture et se traduisant par une tendance générale à la motorisation, la spécialisation, l'usage important d'intrants de synthèse, mais couvrant néanmoins une grande gamme de systèmes
Agriculture durable *(Sustainable agriculture)*	
Existence d'un cadre réglementaire	En France existence de cahiers des charges
Principes avancés	Pas de principe formalisé général, si ce n'est celui de contribuer au développement durable ; en France, les principes de minimisation des atteintes à l'environnement, d'autonomie (notamment énergétique) des exploitations, ainsi que de création de lien social, ont une grande importance, sans crainte d'une baisse éventuelle de production
Principales orientations techniques	En France, systèmes fondés sur la diversification, un recours aux ressources locales
Agriculture raisonnée	
Existence d'un cadre réglementaire	Oui, en France de 2002 à 2013
Principes avancés	Le référentiel portait sur le respect de l'environnement, la maîtrise des risques sanitaires, la santé et la sécurité au travail et le bien-être des animaux ; de nombreux points concernaient des aspects strictement réglementaires
Principales orientations techniques	Tous systèmes de production concernés

Agroécologie (*Agroecology)*	
Existence d'un cadre réglementaire	Non
Principes avancés	Plusieurs familles de principes coexistent ; toutes intègrent la mobilisation des régulations naturelles et le fonctionnement écosystémique comme socle de base du raisonnement agricole, ainsi que la valorisation des connaissances locales ; certaines y ajoutent des dimensions sociales, éthiques, et politiques
Principales orientations techniques	Pas d'orientation technique normative, des orientations recoupant largement celles de l'agriculture biologique, de l'agriculture intégrée et de l'agriculture durable
Permaculture *(Permaculture)*	
Existence d'un cadre réglementaire	Non
Principes avancés	Il s'agit de concevoir de systèmes de production à haute efficacité énergétique, productifs, autonomes, et socialement utiles, reposant sur une observation attentive du milieu naturel et sur sa valorisation par un *design* approprié, et comprenant une dimension éthique affirmée
Principales orientations techniques	Les principes tendent à déboucher sur des systèmes de petite taille, très diversifiés et complexes, à forte intensité d'utilisation de la main d'œuvre et faible artificialisation
Agriculture de conservation *(Conservation agriculture)*	
Existence d'un cadre réglementaire	Non
Principes avancés	Principes liés au travail du sol et à sa couverture : travail du sol simplifié ou absent, couverture permanente du sol, diversification des espèces cultivées
Principales orientations techniques	Celles liées directement aux principes, pouvant s'appliquer à toute une gamme de systèmes de production végétale
Agroforesterie *(Agroforestry)*	
Existence d'un cadre réglementaire	Oui, français et européen, référentiels utilisés dans les systèmes d'octroi d'aides
Principes avancés	Culture sur une même parcelle d'espèces ligneuses (arbres) et d'espèces herbacées (cultures ou prairies)
Principales orientations techniques	Celles directement liées aux principes, pouvant s'appliquer à toute une gamme de systèmes de production
	Source : auteur.